

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 02-020087

(43)Date of publication of application : 23.01.1990

(51)Int.Cl.

H01S 3/18

(21)Application number : 63-170467

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 08.07.1988

(72)Inventor : KINOSHITA JUNICHI

## (54) DISTRIBUTED FEEDBACK TYPE SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT

## (57)Abstract:

PURPOSE: To manufacture laser elements wherein single longitudinal oscillation is obtained at a high yield rate by optimizing the range of a normalized bonding coefficient  $\hat{L}$  that is proportional to the product of the depth of a diffraction grating and the length of a resonator and the range of a reflectivity at an end surface, in a distributed feedback type laser element having the diffraction grating whose phase shift part is located in the vicinity of the center of the inside and a lightguide structure.

CONSTITUTION: A lightguide has a periodic structure in the direction of the axis of a resonator. One or more phase shift regions are formed in the distances from the center of the resonator having said periodic structure in both directions. The distance is less than 20% of the length of the resonator. Or a deformed lightguide region corresponding to said phase shift region in an equivalent mode is provided. The reflectivities at both end surfaces are 5-15%. The value of the product  $\hat{L}$  of a bounding coefficient ( $\hat{e}$ ) and the length  $L$  of the resonator is set at  $0.6 \cdot \hat{L} \cdot 1.0$ . Within the ranges of  $0.6 \cdot \hat{L} \cdot 1.0$  and  $5 \cdot R(\text{reflectivity}) \cdot 15\%$ , a yield rate of 30-50% is obtained in the ranges characterized by relatively easy manufacture and gentle conditions can be obtained. When the reflectivities at both end surfaces are largely different, the trend becomes different. However, there is no large difference within the ranges of above described manufacturing conditions.

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office



⑨ 日本国特許庁(JP)

⑩ 特許出願公開

⑪ 公開特許公報(A) 平2-20087

⑫ Int. Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成2年(1990)1月23日

H 01 S 3/18

7377-5F

審査請求 未請求 請求項の数 2 (全6頁)

⑭ 発明の名称 分布帰還型半導体レーザ素子

⑮ 特 願 昭63-170467

⑯ 出 願 昭63(1988)7月8日

⑰ 発 明 者 木 下 順 一 神奈川県横浜市磯子区新杉田町8 株式会社東芝横浜事業所内

⑱ 出 願 人 株 式 会 社 東 芝 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

⑲ 代 理 人 弁 理 士 須 山 佐 一

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

分布帰還型半導体レーザ素子

## 2. 特許請求の範囲

(1) 共振軸方向に周期構造を有する光導波路と、この周期構造を有する共振器の中央から両方向に向かって共振器長の20%以下の距離間に形成された1個以上の位相シフト領域またはこの位相シフト領域に等価的に対応する導波路変形領域とを有し、両端面の反射率が5～15%でかつ結合係数 $\kappa$ と両記共振器長 $L$ との積 $\kappa L$ 値が、

$0.6 \leq \kappa L \leq 1.0$  となるように構成されていることを特徴とする分布帰還型半導体レーザ素子。

(2) 周期構造が、この周期構造を有する共振器の長さをほぼ3等分する2つの点で管内波長の1/8の位相シフト領域またはこの位相シフト領域に等価的に対応する導波路変形領域を有する分布帰還型半導体レーザ素子において、

結合係数 $\kappa$ と共振器長 $L$ の積 $\kappa L$ の値が

$0.5 \leq \kappa L \leq 1.3$  の場合に両端面の反射率を

5～20%とし、前記 $\kappa L$ の値が $1.2 \leq \kappa L \leq 2.1$ の場合には両端面の反射率を2%以下として構成したことを特徴とする分布帰還型半導体レーザ素子。

## 3. 発明の詳細な説明

## 〔発明の目的〕

## 〔産業上の利用分野〕

本発明は光導波路上に形成した回折格子により光フィードバックをして発振動作を行う分布帰還型半導体レーザ素子に関する。

## 〔従来の技術〕

近年、開発が進んだ分布帰還型半導体レーザ素子(DFB-LD:Distributed Feedback Laser Diode)は、その共振軸方向に周期的な凹凸(回折格子)が形成されており、その回折格子の周期に整合した縦モードのみを優先的に光フィードバック(光帰還)を行い、単一縦モード発振(1本の発振線)を可能としている。従って、このレーザ素子に寄せる期待は大きく、特に長距離大容量光通信用光源としてGaInAsP/InP系材料を用いた分布帰還型半導体レーザ素子が実用化されている。

ところで、このような利点をもつ分布帰還型半導体レーザ素子であるが、製造時において必然的に形成されてしまう両端の反射端面の影響により単一縦モード性に関しては歩留り上の大きな制約を受ける。即ち、この反射端面と回折格子の位相との位置関係が縦モードの発振特性に大きな影響を与える。加えてこの両者の位置関係の制御が技術的に困難であるため、この問題を確率的な問題(歩留り)に帰着させてしまう。

この問題を解決するために、第6図(a)に示すように、分布帰還型半導体レーザ素子の共振器中央部に導波光波長 $\lambda$ の1/4に相当する回折格子1の不連続部(1/4位相シフト)2を設けるとともに、その両端面にARコート(無反射コーティング)を施して両端面の反射率を限りなく零に近づけた構造が提案されている。

また、上記位相シフト部2と等価的位相シフト構造も提案されており、例えば第6図(b)に示すように、回折格子1には不連続部を設けずに、導波路3の中央部3aの形状を変化させるもので

ある。このように構成することにより、導波路3の位相速度が中央部3aで変化するため、等価的に位相シフトを生じる。

(発明が解決しようとする課題)

しかしながら、このような位相シフト型分布帰還型レーザ素子においても、結合係数 $\kappa$ と共振器長 $L$ との積 $\kappa L$ (回折格子による光のフィードバック量に対応する)の値が1.25付近にないと軸方向のホールバーニングが発生し、単一縦モード特性を阻うことが指摘されている(豊田他、電子情報通信学会、光電子エレクトロニクス研究会 OQE86-7 PP.49-58、1987年)。

また、端面の反射率も極めて小さく抑える必要があり、高い精度でのARコートの技術が要求されている。さらに、この反射率低減を完璧に近づけるために、導波路を端面部で埋め込む芯構造を採用する等の工夫も必要とされている(例えば、Ushiki et al. PP.236-245、IEEE JOURNAL OF QUANTUM ELECTRONICS VOL.QE-20、1984)。

本発明は上述した問題点を解決するためになさ

れたもので、比較的製作が容易でかつ単一縦モード特性が比較的高い歩留りで得られる分布帰還型半導体レーザ素子を提供するものである。

〔発明の構成〕

(課題を解決するための手段)

本発明の分布帰還型半導体レーザ素子は、共振器軸方向に周期構造を有する光導波路と、この周期構造を有する共振器の中央から両方向に向かって共振器長の20%以下の距離間に形成された1個以上の位相シフト領域またはこの位相シフト領域に等価的に対応する導波路変形領域とを有し、両端面の反射率が5~15%でかつ結合係数 $\kappa$ と前記共振器長 $L$ との積 $\kappa L$ 値が、 $0.5 \leq \kappa L \leq 1.3$ となるように構成されていることを特徴とするものである。

また、周期構造が、この周期構造を有する共振器の長さをはばう等分する2つの点で管内波長の1/8の位相シフト領域またはこの位相シフト領域に等価的に対応する導波路変形領域を有する分布帰還型半導体レーザ素子において、結合係数 $\kappa$ と

共振器長 $L$ の積 $\kappa L$ の値が $0.5 \leq \kappa L \leq 1.3$ の場合に両端面の反射率を5~20%とし、前記 $\kappa L$ の値が $1.2 \leq \kappa L \leq 2.1$ の場合には両端面の反射率を2%以下として構成したことを特徴とするものである。

即ち、内部中央付近に位相シフト部を持つ回折格子および導波路構造を有する分布帰還型レーザ素子において、その回折格子の深さと共振器長の積に比例する規格化結合係数 $\kappa L$ の範囲と端面の反射率の範囲を最適化することにより、実現の簡単な工程で単一縦モード歩留りを大きくすることができるものである。

(作用)

本発明の特徴は、端面の反射率と $\kappa L$ 値の最適値を決定するに際し、レーザ素子内部の光強度分布を考慮した点にあり、共振器軸方向におけるホールバーニングの現象によるモードの不安定性を考慮している。従来はしきい値の一番低い縦モード(主モード)と次にしきい値の低いモード(副モード)とのゲイン差 $\Delta\alpha$ ( $-\alpha_1 - \alpha_0$ )

のみに着目し、その値が大きければ良いとされていた。本発明は内部光分布にも着目してより現実に近いものとし、従来とは異なる最適値を見出したことにその特徴がある。

#### (実施例)

以下、本発明の実施例について図を参照すると共に、理論と計算例を交えて詳細に説明する。

第1図は分布帰還型半導体レーザ素子の発振モード特性の一例を示す模式図である。

図軸原点はブラッグ(Bragg)条件での発振を示し、図軸は伝搬定数のブラッグ条件からのずれ( $\delta = \beta - \beta_0$ 、 $\beta_0$ はブラッグ条件での伝搬定数)と共振周波数の値でプロットしている。また、縦軸はミラー損失分に対応するしきい値ゲイン $\alpha$ と共振器長さ $L$ との積である。図中の白丸は各共振モードを示し、最低しきい値ゲイン $\alpha_0$ を有するのが主モード(単一共振モード発振する)である。

規格化しきい値ゲイン差 $\Delta\alpha L$ は、主モードの規格化しきい値ゲイン $\alpha_0 L$ と次にしきい値ゲインの小さい副モードの規格化しきい値ゲイン $\alpha_1$

向ホールバーニングと呼ばれるものである。

この変化は、 $\Delta\alpha$ が大きければ $\Delta\alpha$ が零になるまで連続的に発生し続け、外分光量子効率の変化、過渡現象波形への悪影響等のリニアでない不都合な現象を示す。 $\Delta\alpha$ が零になれば、モードが次の共振モードにジャンプし電流-光出力特性にも折れ曲り(キンク:Kink)を生じる。

従って、 $\Delta\alpha$ の小さい素子では余裕がないため、発振後は容易にモードジャンプを起す。しかし、 $\Delta\alpha$ が小さくてもこのホールバーニングが起らなければ単一共振モード性は保持される。逆に $\Delta\alpha$ が大きい素子でも軸方向ホールバーニングによる電流-光出力特性に強い非直線性を生じた後にモードジャンプを起して単一共振モード性が破壊されることがある。もちろん、 $\Delta\alpha$ も大きく、内部光強度分布も平坦で軸方向ホールバーニングが起らなければ、それが最も好ましい。

このように分布帰還型半導体レーザ素子のレーザ発振後の振舞いが実験、理論の両面から解明されつつある。

$L$ との差である。従来はこの値が大きければそれだけ単一共振モード性が良いとされ、規格化結合係数 $\kappa L$ が大きければ大きいほど $\Delta\alpha L$ が大きくなるため、 $\kappa L$ を大きくすることが望まれていた。

しかしながら、前述したように、発振以後の単一共振モードの安定性は $\Delta\alpha$ のみによるものではなく、その共振器軸方向における内部光強度分布の影響を強く受けることが指摘されており、この現象は軸方向のホールバーニングと呼ばれている。

すなわち、共振器側方向で光強度の強い領域があると、その領域の注入キャリア密度は他の領域と比較して減少する。このキャリア密度の軸方向の分布はプラズマ効果、バンドギャップの変化を通じて軸方向の屈折率分布を不均一なものとする。分布帰還型レーザ素子の場合等は等価屈折率の空間的変化は光波の位相が屈折格子に対して場所によって相対的に変化することを意味し、等価的な位相シフトを形成したことになる。このような構造上の変化は、分布帰還型レーザ素子の発振条件の連続的な変化を誘起する原因となる。これが軸方

本発明はこのような現状を背景に、 $\Delta\alpha$ も比較的大きく、また軸方向ホールバーニングの影響も少なく、実際に安定な単一共振モード動作を実現する分布帰還型半導体レーザ素子を容易に制御できる工程で歩留り良く作製できる構造を提案している。

本発明の数値的限定は以下の計算によるものであるが、実験的にも同様の傾向が確認できる。

即ち、規格化モードゲイン差 $\Delta\alpha L$ が0.05以上であり、共振器軸方向の光強度分布の最小値と最大値の比 $FR = I_{min}/I_{max}$ が0.8以上である( $FR$ の値が1に近づけば近づくほど、光分布が平坦で軸方向ホールバーニングも小さい。例えば、へき開面を用いた通常のファブリーペロー型レーザ素子では $FR$ は約0.4強である)。

この二つの条件を同時に満足する分布帰還型半導体素子は、比較的単一共振モード特性に優れているものである。尚、 $FR$ の定義を第2図に例示した。

上記二つの条件を満足するレーザ素子が、任意

のへき端面位相で得られる確率を、 $\kappa L$ の値および片面の反射率の値をパラメータとして等電率線図として表現したものが第3図、第4図および第5図である。この計算は結合波動方程式を用いた分布帰還レーザの基礎理論に基づいている。 $\kappa L$ の値は0.2～2.2まで0.1刻み(21ポイント)、反射率は0～100%まで0.5%刻み(21ポイント)で変化させた。夫々のポイントは反射端面の位相を両方で $8 \times 8 = 64$ (通り)変化させた場合、 $FR \geq 0.6$ 、 $\Delta \alpha L \geq 0.05$ の条件を満たす素子が見られる確率を示している(図示せず)。

等高線はこの確率を分かりやすく表記したものであり、一種の歩留りマップである。この図面1枚は $8 \times 8 \times 21 \times 21 = 28224$ 種類の分布帰還レーザ素子を調べたことに対応している。

図中に挿入した図は、1%以下の低反射領域を計算したもので、0.1%刻みで計算したものである。

第3図は中央に $\lambda/4$ 位相シフトをもつ分布帰還レーザの歩留りマップである。従来の理想的条件即ち両端面の反射が零で $\kappa L = 1.25$ 付近で、90%

以上の歩留りが得られることが分る。しかし、この条件付近を、さらに細かい計算によると(挿入図)、50%以上の歩留りを得るためには反射率が0.2%以下( $1.2 \leq \kappa L \leq 1.4$ )の値を持つ必要があることが判明した。

この両面0.2%以下の反射率を得るのは無反射(AR)コートだけでは制御が困難であり、窓構造との併用等工程の増加を招くものである。これに対し、

$0.6 \leq \kappa L \leq 1.0$ 、 $5 \leq R$ (反射率) $\leq 15\%$ の範囲においても、比較的製作の容易な緩い条件の範囲で30～50%程度の歩留りが得られる。第3図では、両端面の反射率を同一として計算したが、両端面の反射率が大きく異なる場合は、傾向は違うものとなるが、上記製造条件の範囲内であれば大きな変化はない。

本例はこの条件に入るように分布帰還レーザの構造を決定するものである。実際、 $\lambda/4$ シフト付分布帰還レーザを試作した際に、反射率を2%程度までARコートにより抑えたにも拘らず、従来の

予想のように高い歩留りは得られず、軸方向ホールバーニングによる非線形な電流-光出力特性を示し、モードがジャンプして2モード発振してしまふ素子が多かった。これに対し、反射率が比較的大きい10%程度の素子の方が単一縦モードが動的にも安定な素子が多く得られた。

第4図は中央部に $\lambda/8$ 位相シフトを有する構造に関する歩留りマップであるが、このときの理想条件は両端面の反射率が零で、 $\kappa L = 1.35$ 付近に設定されることである。この構造ではこの理想条件付近の詳細な計算によると、 $1.2 \leq \kappa L \leq 1.6$ 、 $R \leq 0.4\%$ の範囲で50%の歩留りが得られる。この条件は $\lambda/4$ シフト構造の場合より緩いが、やはり相当難しい制御条件である。この構造でも、理想条件から離れた $0.6 \leq \kappa L \leq 1.0$ 、 $5 \leq R \leq 15\%$ の範囲に比較的実現可能な30～50%歩留り領域が存在している。

さて、第3図は共振器長をはば等分に3分割する2点に、 $\lambda/8$ 位相シフトが設けられている構造の歩留りマップである。この場合、安定な単一縦

モードが得られる条件はかなり緩くなる。この場合は詳細な計算によると、 $1.2 \leq \kappa L \leq 2.1$ 、 $R \leq 2\%$ の広い範囲で40%の歩留りが得られる。この範囲ではかなり実現性が高くなる。また、先の2例と同様に $0.5 \leq \kappa L \leq 1.3$ のときは両端面の反射率 $R$ を $5\% \leq R \leq 20\%$ とすることにより、その歩留りを30～40%程度にできる。このように $\lambda/8$ シフトを3等分点2箇所に設けることにより、広い範囲の構造パラメータで高い単一縦モード歩留りが可能となる。実際この構造の素子をInGaAsP/InP系材料で試作した結果、比較的高い歩留りで安定な単一縦モード動作が確認された。

#### 【発明の効果】

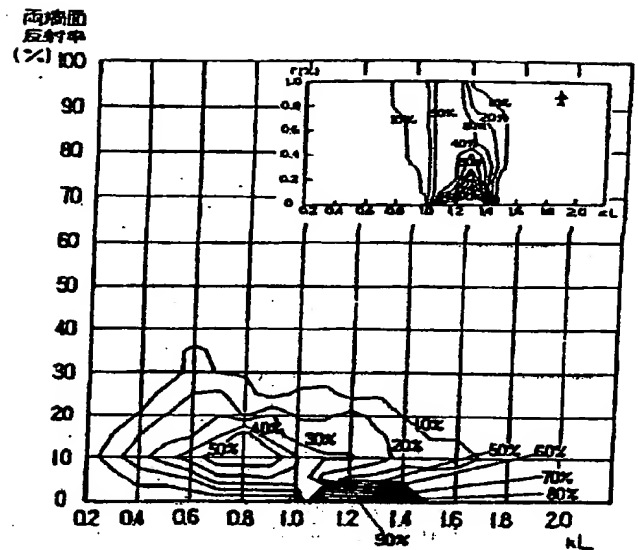
以上説明したように本発明の分布帰還型半導体レーザ素子によれば、単一縦モード発振の得られるレーザ素子を高歩留りで製作することが可能となる。本発明は分布帰還型半導体レーザ素子の本質的特性に立脚したものであり、レーザ素子の量産化を可能とするものである。従って、そのコストダウンと普及に対し大きく貢献することができ

る。

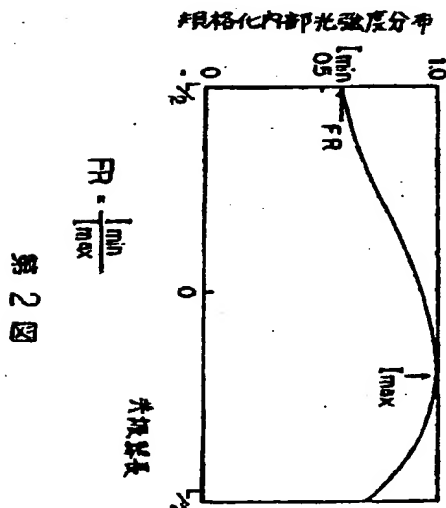
## 4. 図面の簡単な説明

第1図は $\Delta\alpha L$ を説明するための $\alpha L-\delta L$ ダイアグラム、第2図はFRの定義を説明するための分布帰還型半導体レーザ素子の内部光強度分布の一例を示す図、第3図は共振器中央に $\lambda/4$ 位相シフトを有する場合、両方の端面反射率（縦軸）と $\alpha L$ の値（横軸）を変化させたとき $\Delta\alpha L$ の値が0.05以上でFR（内部光強度分布の平坦性）を示すパラメータが0.6以上である素子の得られる歩留りを等高線表示した図、第4図は中央に $\lambda/8$ 位相シフトを有する場合の同様の歩留りの等高線表示した図、第5図は共振器を3等分する2点に $\lambda/8$ 位相シフトを有する場合の歩留りの等高線表示、第6図は従来の位相シフト構造を有する分布帰還型半導体レーザ素子の導波路構造を示す平面および断面図である。

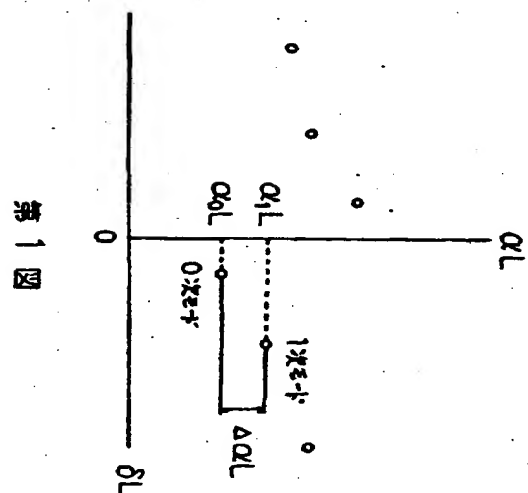
出願人 株式会社 東芝  
代理人 弁理士 須山 佐一



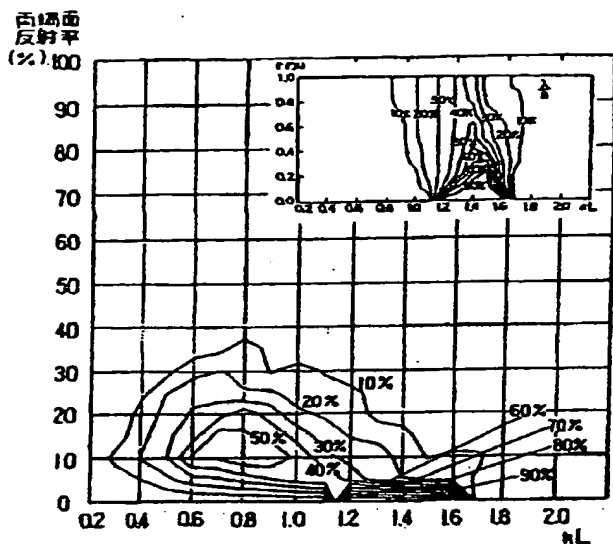
第3図



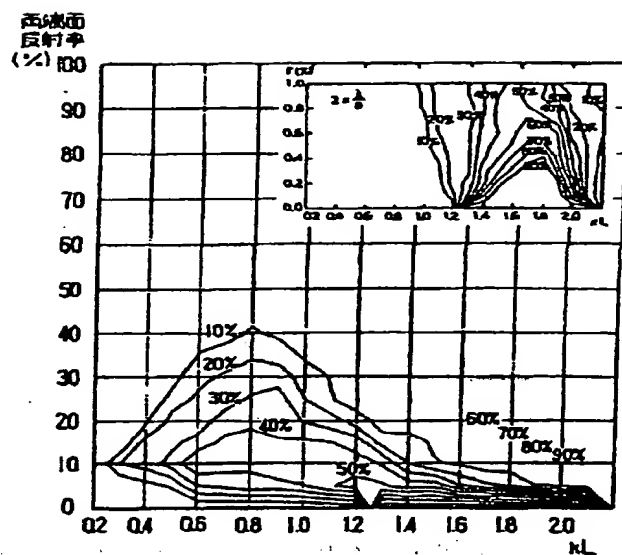
第2図



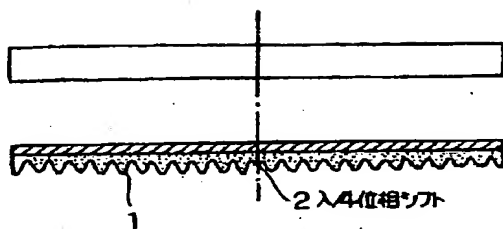
第1図



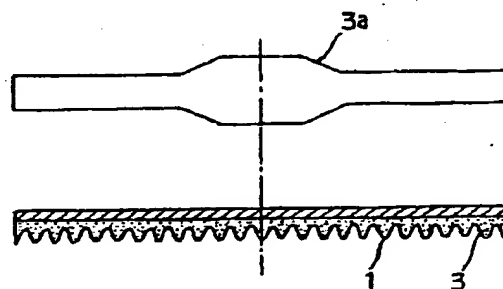
第 4 図



第 5 図



(a)



(b)

第 6 図